



REC'D 01 AUG 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 29 578.6

**Anmeldetag:** 02. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Elektrisches Bauelement, insbesondere  
mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches  
Hochfrequenzbauelement, und Verfahren  
zu dessen Herstellung

**IPC:** B 81 B, H 01 P

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. Juli 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Agurks

**BEST AVAILABLE COPY**

21.05.02 Kut/Zj

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Elektrisches Bauelement, insbesondere mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches  
Hochfrequenzbauelement, und Verfahren zu dessen Herstellung

10

Die Erfindung betrifft ein elektrisches Bauelement, insbesondere ein mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches Hochfrequenzbauelement, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

15

Stand der Technik

20

Aus DE 100 37 385 A1 ist ein in Mikromechanik gefertigter Hochfrequenz-Kurzschlusschalter bekannt, der eine dünne Metallbrücke aufweist, die zwischen zwei Masseleitungen eines koplaren Wellenleiters gespannt ist. Dieser Hochfrequenzkurzschlusschalter ist beispielsweise für ACC-Anwendungen („Adaptive Cruise Control“) oder SRR-Anwendungen („Short Range Radar“) in Kraftfahrzeugen verwendbar und wird bei Betriebsfrequenzen von typischerweise von 24 Gigahertz oder 77 Gigahertz betrieben.

30

Daneben sind vielfältige andere Mikrostrukturbauelement bzw. mikrosystemtechnische Bauelementen beispielsweise für Anwendungen im Bereich der Hochfrequenztechnik auf Basis von Silizium bekannt. Diese werden auch als MEMS-Bauelemente (microelectromechanical structures/system) oder HF-MEMS-Bauelemente (high frequency microelectromechanical structures/system) bezeichnet.

35

In der Regel ist es bei Mikrostrukturbauelementen und insbesondere mikrostrukturierten Hochfrequenzbauelementen erforderlich, diese vor Umwelteinflüssen wie Feuchte, Luft, Schmutzpartikeln oder sonstigen äußeren Medien oder Gasen zu schützen. Dazu wird vielfach eine Verkappung eingesetzt. Um dabei die Funktion des durch die Verkappung eingeschlossenen Mikrostrukturbauelementes nicht oder nicht zu stark zu beeinträchtigen, ist es erforderlich, eine Leiterstruktur in die Verkappung hineinzuführen. Dabei stellt sich zunächst das Problem der Si-

5 herstellung der nötigen Gasdichtigkeit bzw. Feuchtigkeitsdichtigkeit. Weiter muss bei der Durchführung der Leiterstruktur vom Außenraum der Verkappung in deren Innenraum insbesondere im Fall eines Hochfrequenzbauelementes sichergestellt bleiben, dass die Leiterstruktur für hochfrequente elektromagnetische Wellen transparent bzw. durchgängig ist, d. h. es darf nicht zu einer nennenswerten Dämpfung oder Störung der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen auf der Leiterstruktur kommen.

10 In US 6,207,903 B1 wird ein mikrostrukturiertes Siliziumsubstrat in Form einer Membran mit einer hohen elektrischen Leitfähigkeit beschrieben, das Durchführungen zwischen koplanaren Wellenleitern aufweist, die auf unterschiedlichen Seiten des Siliziumsubstrates geführt sind. Diese Durchführungen sind in Form von Kreiskegelstümpfen ausgeführt und dabei von unterschiedlichen Seiten des Substrates in dieses eingätzt und mit einem Metall gefüllt worden, so dass sich eine Hochfrequenzdurchführung zwischen den auf Oberseite und Unterseite geführten koplanaren Wellenleitern ergibt. Daneben ist dort beschrieben, dass auch pyramidenförmige Durchführungen bekannt sind, die das Substrat durchqueren. Bei dem in US 6,207,903 B1 eingesetzten Ätzverfahren zur Erzeugung der Durchführungen handelt es sich um ein nasschemisches Ätzverfahren, das die Anisotropie der Ätzgeschwindigkeit in Silizium-Einkristallen entlang verschiedener Kristallrichtungen benutzt, so dass sich als Seitenwände der pyramidenförmigen Durchführungen stets kristalline (111)-Ebenen ausbilden. Die Seitenwände sind damit nicht vertikal, sondern bilden stets einen Winkel von  $54,75^\circ$  mit der Substratebene. Dieses Verfahren wird in US 5,913,134 im Zusammenhang mit dem Aufbau von Hochfrequenzbauelementen mit koplanaren Wellenleitern im Detail weiter erläutert.

30 Die aus den vorgenannten Publikationen bekannten Durchführungen für mikroelektronische oder mikroelektromechanische Hochfrequenzbauelemente haben den Nachteil, dass sie aufgrund der anisotropen Nassätzung von Silizium mit der (111)-Ebene als Ätzstopp sehr viel Platz benötigen, und dass die auf den dort beschriebenen Silizium-Substraten geführten koplanaren Wellenleiter für hochfrequente elektromagnetische Wellen im Gigahertz-Bereich mit speziellen elektrischen Anpassstrukturen versehen werden müssen, um sie in ein entsprechendes Hochfrequenzbauelement integrieren zu können. Diese Anpassstrukturen führen andererseits zu einer Verschlechterung der Hochfrequenzeigenschaften der elektrischen Bauelemente durch unerwünschte Verluste, eine Verringerung der Bandbreite bzw. das Erfordernis einer speziellen Impedanzanpassung.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war die Bereitstellung eines elektrischen Bauelementes, insbesondere eines mikroelektronischen oder mikroelektromechanischen Hochfrequenzbauelementes, das einerseits hermetisch verkappbar ist, und bei dem es andererseits nicht zu den vorgenannten Nachteilen der aus dem Stand der Technik bekannten Durchführungen hinsichtlich ihrer Hochfrequenzeigenschaften kommt.

#### Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße elektrische Bauelement und das erfindungsgemäße Verfahren zu seiner Herstellung hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass die Durchführungen sehr viel kleiner sind als im Stand der Technik herstellbar sind, und dass auf zusätzliche spezielle Anpassstrukturen zur Integration dieser Durchführungen in eine Schaltung mit Leitstrukturen für hochfrequente elektromagnetische Wellen, insbesondere im Bereich von 1 GHz bis 80 GHz, in der Regel verzichtet werden kann.

Weiter ist vorteilhaft, dass bei der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahren für die einzelnen Verfahrensschritte etablierte Techniken eingesetzt werden können, wie sie beispielsweise aus DE 42 41 045 C1 bekannt sind. Insbesondere lassen sich mit einem trockenen Plasmaätzen Durchführungen bzw. sogenannte „Vias“ mit nahezu senkrechten und glatten Seitenwänden realisieren, die sich durch geringe elektrische Verluste, insbesondere für hochfrequente elektromagnetische Wellen, und eine sehr gute Integrationsfähigkeit in eine Hochfrequenzschaltungsumgebung auszeichnen. Zudem sind derartige Durchführungen in allen Leitungstypen oder Leitstrukturen aus der Familie der planaren Wellenleiter, d.h. beispielsweise koplanare Wellenleiter, Mikrostreifenleiter oder sogenannte „slot-lines“, wie sie bereits in Meinke und Gundlach, "Taschenbuch der Hochfrequenztechnik", Band 2, Verlag Springer, 1992, beschrieben sind, einsetzbar.

Ein weiterer Vorteil der eingesetzten Plasmaätztechnik zur Erzeugung der Durchführung liegt darin, dass die Durchführungen nun mit einem hohen Aspektverhältnis, d.h. einem hohen Verhältnis von Durchmesser zu Höhe von typischerweise 1:10 oder mehr, und gleichzeitig einem in Draufsicht nahezu beliebigen Querschnitt, d.h. beispielsweise rund, quadratisch, rechteckig oder oval, gefertigt werden können.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So ist vorteilhaft hinsichtlich der gewünschten Hochfrequenzeigenschaften, wenn die Durchführung mit einem Metall, beispielsweise Gold, als elektrisch leitfähigem Material gefüllt oder belegt ist.

5

Die Dimensionen der Durchführung liegen bevorzugt in Draufsicht im Bereich einer Fläche von  $400 \mu\text{m}^2$  bis  $40.000 \mu\text{m}^2$ , insbesondere  $1.600 \mu\text{m}^2$  bis  $10.000 \mu\text{m}^2$  bzw. bei einem Durchmesser von  $20 \mu\text{m}$  bis  $200 \mu\text{m}$ , insbesondere  $40 \mu\text{m}$  bis  $100 \mu\text{m}$ .

10

Der Grundkörper, d.h. in der Regel ein hochohmiger Siliziumwafer mit einem spezifischen Widerstand von mehr als  $100 \Omega\text{cm}$ , weist zumindest im Bereich der Durchführung vorteilhaft eine typische Dicke von  $100 \mu\text{m}$  bis  $650 \mu\text{m}$ , beispielsweise  $200 \mu\text{m}$ , auf.

15

Ein zentrales Problem bei zum Schutz vor äußeren Einflüssen bzw. der Einstrahlung von elektromagnetischen Feldern verpackten oder verkappten Hochfrequenzbauteilen oder mikromechanischen Bauteilen oder Sensorelementen ist schließlich die Durchführung von Leitstrukturen, die mit dem verpackten elektrischen Hochfrequenzbauteil in Verbindung stehen, aus einem von einer Verkappung eingeschlossenen Innenraum nach außen, da diese Durchführungen einerseits hermetisch dicht und andererseits hochfrequenztauglich ausgeführt werden müssen. Ein in einer

20

Weiterbildung der Erfindung verkapptes elektrisches Bauelement vermeidet das Problem der Durchführung der Leitstrukturen durch die Verkappung vorteilhaft über einen Rückseitenkontakt durch den Grundkörper hindurch, so dass um das verkappte Bauteil ein freies Gebiet zur Verfügung steht, das als Bondfläche für die Verkappung verwendet werden kann.

## Zeichnungen

30

Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Figur 1 eine Prinzipskizze eines Schnittes durch einen Ausschnitt eines Bauelementes mit einer Durchführung, Figur 2 eine Draufsicht auf die Oberseite von Figur 1, Figur 3 eine Draufsicht auf die Unterseite von Figur 1, Figur 4 eine Darstellung zweier benachbarter ungefüllter oder unbelegter Durchführungen in einem Grundkörper im Schnitt, Figur 5 eine Prinzipskizze einer Teststruktur mit zwei Durchführungen und ansonsten weitgehend analogem Aufbau gemäß den Figuren 1 bis 3 zur Vermessung der Hochfrequenzeigenschaften dieser Struktur, Figur 6 einen Vergleich einer Messung der Reflexionsdämpfung einer doppelten Viadurchführung gemäß Figur 5 als Funktion der Frequenz und einen Vergleich mit einer Simulati-

35

on ausgehend von einem Ersatzschaltbild gemäß Figur 7, Figur 7 ein Ersatzschaltbild für den Aufbau gemäß Figur 5, Figur 8 einen Vergleich einer Messung der Transmissionsdämpfung einer doppelten Viadurchführung gemäß Figur 5 im Vergleich mit einer Simulation auf der Grundlage des Ersatzschaltbildes gemäß Figur 7, Figur 9 ein alternatives Ausführungsbeispiel zu den Figuren 1 bis 3 mit einer versetzten Durchführung, Figur 10 ein weiteres alternatives Ausführungsbeispiel zu den Figuren 1 bis 3 mit einer kapazitiven Kopplung der Leitstrukturen, Figur 11 eine zu Figur 5 weitgehend analoge Teststruktur zur Analyse der Hochfrequenzeigenschaften einer Durchführung mit kapazitiver Kopplung gemäß Figur 10, Figur 12 verschiedene Simulationen der Reflexionsdämpfung einer doppelten Viadurchführung mit kapazitiver Kopplung gemäß Figur 11 als Funktion der Frequenz und der Kapazität, Figur 13 ein Ersatzschaltbild einer doppelten Viadurchführung gemäß Figur 11 und Figur 14 eine Prinzipskizze eines elektrischen Bauelementes im Schnitt mit einer Verkappung, das analog Figur 1, 5 oder 9 gebaut ist.

#### Ausführungsbeispiele

Die Figur 1 erläutert ein erstes Ausführungsbeispiel für ein elektrisches Bauelement 5 in Form eines mikroelektronischen Hochfrequenzbauelementes, wobei ein Grundkörper 10 in Form eines hochohmigen Siliziumwafers mit einem spezifischen elektrischen Widerstand von bevorzugt mehr als  $1.000 \Omega\text{cm}$  mit einer Mehrzahl von benachbarten Durchführungen 13 bzw. sogenannten „Vias“ versehen ist, die den Grundkörper 10 von dessen Oberseite 21 zu dessen Unterseite 20 durchqueren. Weiter ist auf der Oberseite 21 eine obere Leitstruktur 11 vorgesehen, während sich auf der Unterseite 20 eine untere Leitstruktur 12 befindet. Die Durchführungen 13 sind mit einem Metall, beispielsweise Gold, oder einem anderen, durch eine galvanische Abscheidung abscheidbaren Metall belegt. Schließlich ist vorgesehen, dass die belegte Durchführung 13 elektrisch leitend mit der oberen Leitstruktur 11 und der unteren Leitstruktur 12 in Verbindung steht, so dass die obere Leitstruktur 11 und die untere Leitstruktur 12 zumindest für hochfrequente elektromagnetische Wellen durchgängig miteinander verbunden sind. Die Durchführung 13 gemäß Figur 1 weist räumlich gesehen die Form eines geraden Prismas oder eines geraden Zylinders auf, das oder der mit dem Metall als elektrisch möglichst gut leitfähiges Material belegt ist.

Die Figur 2 zeigt eine Draufsicht auf Figur 1, so dass erkennbar wird, dass auf der Oberseite 21 insgesamt drei Durchführungen 13 benachbart nebeneinander auf einer gemeinsamen Verbindungslinie angeordnet sind. In Figur 2 sind dabei durch die gepunkteten Linien die in Draufsicht eigentlich nicht sichtbaren Durchführungen 13 angedeutet, die sich unterhalb der oberen Leit-

struktur 11 befinden. Die obere Leitstruktur 11 gemäß Figur 2 ist in Form eines koplanaren Wellenleiters ausgeführt, wie er aus US 6,207,903 B1 oder DE 100 37 385 A1 bekannt ist. Insbesondere weist die obere Leitstruktur 11 zwei parallel zueinander verlaufende Masseleitungen 11' auf, die eine Signalleitung 11'' einschließen. Weiter werden gemäß Figur 2 die Masseleitungen 11' bzw. die Signalleitung 11'' mit Hilfe der diesen jeweils zugeführten Durchführungen 13 von der Oberseite 21 mit der Unterseite 20 des Grundkörpers 10 verbunden.

Die Figur 3 zeigt eine Draufsicht auf die Unterseite 20 gemäß Figur 1 bzw. die gegenüberliegende Seite von Figur 2. Auch hier sind erneut die eigentlich nicht sichtbaren Durchführungen 13 durch gepunktete Linien angedeutet. Auf der Unterseite 20 des Grundkörpers 10 verläuft schließlich auch hier als untere Leitstruktur 12 ein planarer Wellenleiter in Form eines koplanaren Wellenleiters mit zwei zueinander parallelen Masseleitungen 12', die eine Signalleitung 12'' einschließen.

Die Figur 4 zeigt einen Schnitt durch einen Grundkörper 10 mit zwei Durchführungen 13 vor deren Ausfüllung oder Belegung mit einem elektrisch leitfähigen Material, beispielsweise einem Metall. Insbesondere ist in Figur 4 erkennbar, wie mit Hilfe eines Plasmatrockenätzverfahrens, beispielsweise gemäß DE 42 41 045 C1, durch anisotrope Plasmaätzung Trenchgräben 14 in das Substrat 10, im erläuterten Beispiel einen Siliziumwafer, eingeätzt worden sind, die senkrecht zu dem zumindest in diesem Bereich ebenen Grundkörper 10 verlaufen, und die diesen durchqueren. Man erkennt deutlich, dass die Trenchgräben 14 nahezu senkrechte und weitgehend glatte Seitenwände aufweisen, wobei der Grundkörper 10 gemäß Figur 4 eine Dicke von ca. 200 µm besitzt, während die Breite der Trenchgräben 14 bei ca. 100 µm liegt.

Die Figur 5 zeigt eine Teststruktur zur Bestimmung der Hochfrequenzeigenschaften eines elektrischen Bauelementes 5 mit einer Durchführung 13 von einer oberen Leitstruktur 11 zu einer unteren Leitstruktur 12 gemäß Figur 1 bzw. Figur 2 und 3. Im Unterschied zu Figur 1 sind hier jedoch zwei Durchführungen 13 vorgesehen, die beispielsweise gemäß Figur 4 beabstandet voneinander ausgebildet und mit einem Metall gefüllt oder belegt sind. Diese beiden Durchführungen 13 verbinden eine auf der Oberseite 21 angeordnete obere Leitstruktur 11 in Form eines koplanaren Wellenleiters gemäß Figur 2 mit zwei unteren Leitstrukturen 12, die ebenfalls als koplanare Wellenleiter jeweils gemäß Figur 3 ausgebildet sind. Die obere Leitstruktur 11 weist gemäß Figur 5 eine Länge  $l_2$  von 0,5 mm bei einer Impedanz von 46 Ω auf, während die unteren Leitstrukturen 12 jeweils eine Länge  $l_1$  von 2,35 mm und ebenfalls eine Impedanz von 46 Ω aufweisen. Mit Hilfe der Teststruktur gemäß Figur 5 wird im Bereich eines ersten Messpunktes

40 eine hochfrequente elektromagnetische Wechselspannung in die Teststruktur eingespeist und im Bereich eines zweiten Messpunktes 41 das transmittierte Signal aufgenommen.

Die Figur 7 zeigt ein Ersatzschaltbild für die Teststruktur gemäß Figur 5. Dabei ist berücksichtigt, dass die Durchführungen 13 jeweils als Serienschaltungen eines ohm'schen Widerstandes  $R$  mit einer Induktivität  $L$ , der eine Kapazität  $C_s$  parallel geschaltet ist, dargestellt werden können. Der erhöhte kapazitive Belag innerhalb der Durchführungen 13 wird mit Hilfe der Kapazitäten  $C_p$  berücksichtigt.

Die Figur 6 zeigt eine Messung der Reflexionsdämpfung 30 elektromagnetischer Wellen im Frequenzbereich von ca. 1 GHz bis ca. 50 GHz an der Teststruktur gemäß Figur 5, sowie einen Vergleich mit einer Simulation der Reflexionsdämpfung 31 in diesem Frequenzbereich, wobei für diese Simulation das Ersatzschaltbild gemäß Figur 7 mit den angegebenen Längen  $l_1$ ,  $l_2$  und der angegebenen Impedanzen der Leitstrukturen 11, 12 herangezogen wurde. Man erkennt, dass Simulation und Messung, abgesehen vom Frequenzbereich größer 35 GHz, sehr gut übereinstimmen, so dass mit Hilfe des Ersatzschaltbildes gemäß Figur 7 eine Berechnung und damit auch eine gezielte Einstellung der Eigenschaften eines elektrischen Bauelementes 5, das ähnlich Figur 5 aufgebaut ist, hinsichtlich der Reflexionsdämpfung vorgenommen werden kann.

Die Figur 8 zeigt eine Messung der Transmissionsdämpfung 32 an der Teststruktur gemäß Figur 5, sowie einen Vergleich mit der Simulation der Transmissionsdämpfung 33 der Teststruktur 5, wobei auch hier für die Zwecke der Simulation das Ersatzschaltbild gemäß Figur 7 herangezogen wurde. Auch die Messung der Transmissionsdämpfung 32 befindet sich, abgesehen vom Frequenzbereich größer 35 GHz, in sehr guter Übereinstimmung mit der Simulation der Transmissionsdämpfung 33.

Die Figur 9 zeigt ein gegenüber dem Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 1 bis 3 geringfügig abgewandeltes Ausführungsbeispiel, wobei die der oberen Signalleitung 11'' bzw. unteren Signalleitung 12'' zugeordnete Durchführung 13' gegenüber den beiden benachbarten Durchführungen 13 versetzt worden ist, d.h. Figur 9 weist eine versetzte Durchführung 13' auf, die gegenüber der Verbindungslinie der beiden Durchführungen 13 um einen Abstand  $v$  von beispielsweise 50  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ , insbesondere 150  $\mu\text{m}$ , versetzt ist. Die versetzte Durchführung 13' kann dabei gegenüber der Verbindungslinie der beiden Durchführungen 13, wie in Figur 9 erläutert, zurückgesetzt sein, was bevorzugt ist, sie kann jedoch auch vorversetzt sein. Die Figur



9 zeigt im Übrigen lediglich die Unterseite 20 des Grundkörpers 10, es ist jedoch klar, dass die Oberseite 21 entsprechend aufgebaut ist.

5 Durch die versetzten Durchführungen 13, 13', sogenannten „staggered Vias“, gemäß Figur 9 wird eine Performance-Steigerung hinsichtlich der Transmissionseigenschaften für hochfrequente elektromagnetische Wellen erreicht. Aus Simulation und Messung ergibt sich eine besonders geringe Reflexion und große Transmission für elektromagnetische Wellen im GHz-Bereich bei einem Versatz  $v$  von 50  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ , insbesondere 150  $\mu\text{m}$ .

10 Die Figur 10 zeigt ein weiteres, zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 oder 9 alternatives Ausführungsbeispiel, wobei hier im Unterschied zu Figur 1 die obere Leitstruktur 11 von der Durchführung 13 durch ein Dielektrikum 15, insbesondere in Form einer strukturierten dielektrischen Schicht, beispielsweise aus Siliziumdioxid, getrennt ist. Auf diese Weise ist die obere Leitstruktur 11 von der unteren Leitstruktur 12 für Gleichstrom elektrisch isoliert, während  
15 für hochfrequente elektromagnetische Wellen eine kapazitive Kopplung durch das Dielektrikum 15 über die Durchführung 13 zwischen oberer Leitstruktur 11 und unterer Leitstruktur 12 gegeben ist, d.h. der Aufbau gemäß Figur 10 wirkt ähnlich einem Kondensator und kann damit vor allem sehr hochfrequente elektromagnetische Wellen im GHz-Bereich weiterhin übertragen.

20 Das Dielektrikum 15 weist bei einer Größe der Durchführung 13 von beispielsweise 50  $\mu\text{m}$  x 50  $\mu\text{m}$  bevorzugt eine Dicke von 45 nm bis 1.800 nm, insbesondere 90 nm bis 900 nm auf, was im Rahmen üblicher Technologien gut erreichbare Werte sind, d.h. es bildet mit den Leitstrukturen 11, 12 und der Durchführung 13 einen Kondensator mit einer Kapazität von 0,05 pF bis 4 pF, insbesondere 0,1 pF bis 2 pF. Es ist weiter bevorzugt entsprechend der Fläche der Durchführung 13 in Draufsicht dimensioniert oder geringfügig größer ausgeführt und kann zusätzlich  
auch auf der Unterseite 20 oder alternativ nur auf der Unterseite 20 des Grundkörpers 10 vorgesehen sein. Bevorzugt ist die in Figur 10 gezeigte Variante.

30 Die Figur 11 zeigt, ausgehend von Figur 10, eine Teststruktur zur Analyse der Übertragungseigenschaften für hochfrequente elektromagnetische Wellen über eine Durchführung mit kapazitiver Kopplung gemäß Figur 10 anhand zweier paralleler Durchführungen 13, die im Bereich eines ersten Messpunktes 40 mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen beaufschlagt werden. Die hochfrequenten elektromagnetischen Wellen werden danach im Bereich eines zweiten Messpunktes 41 nach Transmission durch beide Durchführungen und Übertragung über  
35 die Leitstrukturen 12, 11, 12 erfasst. Die Dimensionierung der oberen Leitstruktur 11 bzw. der

unteren Leitstruktur 12 sowie der Durchführungen 13 ist in Figur 11, abgesehen von dem Dielektrikum 15, entsprechend der Teststruktur gemäß Figur 5.

Die Figur 13 zeigt ein Ersatzschaltbild für die Teststruktur gemäß Figur 11, das sich von dem Ersatzschaltbild gemäß Figur 7 für die Teststruktur gemäß Figur 5 lediglich durch die zusätzliche, in Reihe mit dem ohm'schen Widerstand R und der Induktivität L geschaltete Kapazität  $C_s$  unterscheidet, die über das Dielektrikum 15 bereitgestellt wird.

Die Figur 12 zeigt verschiedene Simulationen der Reflexionsdämpfung 31 für elektromagnetische Wellen im Frequenzbereich von ca. 1 GHz bis ca. 50 GHz, die mit Hilfe des Ersatzschaltbildes 13 für die Teststruktur 11 als Funktion der Kapazität  $C_s$  berechnet worden sind. Dabei ergibt sich für den Fall  $C_s = 0$ , d.h. den Fall, dass das Dielektrikum 15 nicht vorhanden ist, wieder die Teststruktur gemäß Figur 5 bzw. das Ersatzschaltbild gemäß Figur 7. Insofern deckt sich die Simulation der Reflexionsdämpfung 31 für  $C_s = 0$  in Figur 12 mit der entsprechenden Simulation der Reflexionsdämpfung 31 in Figur 6. Als Funktion der Kapazität  $C_s$  erkennt man in Figur 12 weiter, dass sich die Transmissionseigenschaften der Teststruktur 11 erheblich verändern, so dass es über die Variation der Kapazität  $C_s$  gezielt und im voraus berechenbar möglich ist, die Transmissions- bzw. Reflexionseigenschaften für hochfrequente elektromagnetische Wellen der Teststruktur 11 an ein gewünschtes Eigenschaftsprofil anzupassen.

Insgesamt führt der Einsatz einer dielektrischen Schicht 15 gemäß Figur 10 bzw. Figur 11 dazu, dass man nun eine gezielte Anpassung der Transmissionseigenschaften der Teststruktur bzw. auch eines elektrischen Bauelementes 5 als Funktion der Frequenz vornehmen kann. So lässt sich durch Veränderung der Kapazität  $C_s$  von 0,1 pF bis 2 pF die Mittenfrequenz gemäß Figur 12 von ca. 10 GHz bis ca. 50 GHz verschieben.

Die Figur 14 zeigt eine Prinzipskizze eines vollständigen elektrischen Bauelementes 5, insbesondere eines mikroelektronischen oder mikroelektromechanischen Hochfrequenzbauelementes, wobei zwei Durchführungen 13 vorgesehen sind, die jeweils die Unterseite 20 des Grundkörpers 10, der ein Siliziumwafer ist, mit dessen Oberseite 21 verbinden. Auf der Unterseite 20 verlaufen jeweils einer der Durchführungen 13 zugeordnete untere Leitstrukturen 12, die in Form von koplanaren Wellenleitern gemäß Figur 3 ausgebildet sind. Die obere Leitstruktur 11 auf der Oberseite 21 ist ebenfalls als koplanarer Wellenleiter ausgebildet und steht mit einem nicht näher dargestellten elektrischen Bauteil 17 oder Sensorelement, insbesondere einem mikroelektronischen oder mikroelektromechanischen Hochfrequenzbauteil, in Verbindung. Dieses

elektrische Bauteil 17 ist beispielsweise eine Hochfrequenzdiode, ein Hochfrequenztransistor, ein in Mikromechanik gefertigter Kurzschlusschalter gemäß DE 100 37 385 A1 oder ein anderes in Mikromechanik gefertigtes Sensorelement.

5        Schließlich ist gemäß Figur 14 eine Verkappung 16 vorgesehen, die das elektrische Bauteil 17 hermetisch dicht verkappt und somit vor Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit, Korrosion oder Schmutz und unerwünschten Gasen schützt.

10        Das Material der Verkappung 16 ist bevorzugt ein Material, das einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten ähnlich dem des Materials des Grundkörpers 10, d.h. Silizium, aufweist, und das sich auch mikrosystemtechnisch herstellen lässt. Bevorzugt werden als Material für die Verkappung 16 Silizium und Floatglas wie Borosilikat-Floatglas eingesetzt.

15        Zur Herstellung der Verkappung 16 werden in eine Siliziumscheibe oder Glasscheibe in üblicher Weise geeignet dimensionierte Kavernen eingeätzt, in denen sich später das beispielsweise als mikroelektromechanisches Hochfrequenzbauteil („HF-MEMS-Struktur“) ausgebildete elektrische Bauteil 17 befindet.

20        Zur Befestigung der Verkappung 16 auf dem Grundkörper 10, insbesondere mit Hilfe eines „Bondrahmens“ wird bevorzugt eine Glasfritte eingesetzt. Im Fall des Borosilikat-Floatglases kann man sich auch des anodischen Bondens bedienen. Danach werden die verkappten Bauteile durch Sägen 17 vereinzelt und in eine Schaltungsumgebung integriert. Zudem können, sofern erforderlich, die verkappten elektrischen Bauteile 17 nach der Metallisierung der Durchführungen 13 integrationsseitig auch noch mit üblichen Anschlusskontakten („bumps“) für einen Löt- oder Klebeprozess versehen werden.

30        Durch die Verkappung 16 ist somit ein hermetisch dicht abgeschlossener Innenraum 18 entstanden, in dem sich das elektrische Bauteil 17, das über die obere Leitstruktur 11 und die Durchführungen 13 für hochfrequente elektromagnetische Wellen durchgängig mit den unteren Leitstrukturen 12 verbunden und darüber elektrisch ansteuerbar ist, auf dem Grundkörper 10 oder im Bereich der Oberfläche des Grundkörpers 10 befindet.

35        Den vorstehenden Ausführungsbeispielen ist gemein, dass die Durchführungen 13 von mit Hilfe eines Plasmaätzverfahrens in das Substrat 10 eingeätzten Trenchgräben 14 gebildet werden, die beispielsweise mit einem Metall gefüllt oder belegt wurden. Die Durchführungen 13 sind daher

als gefüllte bzw. belegte gerade Prismen, d.h. Körper mit kongruenten Vielecken als Grundflächen, wobei die Kanten senkrecht auf der Grundfläche stehen, oder gefüllte bzw. belegte gerade Zylinder, d.h. Körper, der von einer Zylinderfläche mit geschlossener Leitkurve und zwei parallelen Ebenen, den Grundflächen des Zylinders, begrenzt wird, ausgebildet. Insbesondere sind die Durchführungen 13 gegenüber dem Stand der Technik vergleichsweise klein, und sie weisen ein relativ hohes Aspektverhältnis bei weitgehend beliebigem Querschnitt auf. Im Übrigen sei betont, dass die Dicke des Grundkörpers 10 für die Hochfrequenzeigenschaften der Durchführungen 13 nicht in erster Linie entscheidend ist, sondern vielmehr deren laterale Ausmessungen und ihre Form.

Das Verfahren zur Herstellung einer Durchführung 13 gemäß Figur 1 sieht vor, dass zunächst als Ausgangsmaterial bzw. Grundkörper 10 gereinigtes hochohmiges Silizium mit einem spezifischen Widerstand von mehr als  $1.000 \Omega\text{cm}$  bereitgestellt wird, auf dieses einseitig, z.B. auf der Oberseite 21, eine leitfähige, galvaniktaugliche Metallschicht aufgesputtert und anschließend gegebenenfalls strukturiert wird, danach auf der Unterseite 20 des Grundkörpers 10 ein Fotolack aufgebracht und im Bereich der zu erzeugenden Durchführungen 13 fotolithographisch strukturiert wird, d.h. eine Lackmaske als Ätzmaskierung bildet, nachfolgend in einem Plasmatrockenätzschritt, beispielsweise gemäß DE 42 41 045 C1 das Silizium im Bereich der zu erzeugenden Durchführungen 13 durch den Grundkörper 10 hindurch bis zu der gegenüber liegenden Metallschicht durchgeätzt wird, nach anschließender Entfernung der Lackmaske die zunächst nicht metallisierte Seite des Grundkörpers 10 durch Sputtern ebenfalls zumindest bereichsweise metallisiert wird, danach durch Aufbringen einer Lackmaske auf beiden Seiten des Grundkörpers 10 und anschließender galvanischer Verstärkung die Leitstrukturen 11, 12 in Form von beispielsweise koplanaren Wellenleitern für hochfrequente elektromagnetische Wellen erzeugt und gleichzeitig die erzeugten Durchführungen 13 metallisch verstärkt werden, und abschließend durch einen Ätzschritt für Zwecke der galvanischen Verstärkung erzeugte übliche Galvanikzuleitungen beidseitig wieder entfernt werden, so dass neben den Leitstrukturen 11, 12 die erzeugten, mit einem Metall belegten Durchführungen 13 stehen bleiben.

Eine alternative Variante zu diesem Verfahren sieht vor, dass nach dem Bereitstellen des gereinigten hochohmigen Siliziums als Ausgangsmaterial auf die Oberseite 21 zunächst eine dielektrische Schicht einseitig aufgebracht und gegebenenfalls strukturiert wird, danach die leitfähige, galvaniktaugliche Metallschicht einseitig aufgesputtert und gegebenenfalls strukturiert wird, nachfolgend erneut auf der Unterseite 20 ein Fotolack aufgebracht und im Bereich der zu erzeugenden Durchführungen 13 fotolithographisch strukturiert wird, so dass eine Lackmaske

als Ätzmaskierung entsteht, und danach in einem Plasmaätzschritt das Silizium im Bereich der zu erzeugenden Durchführungen 13 bis zu der auf der gegenüber liegenden Seite vorhandenen dielektrischen Schicht durchgeätzt wird, wodurch sich Trenchgräben 14 bilden, die den Grundkörper 10 senkrecht durchqueren. Nach einem Entfernen der Lackmaske als Ätzmaskierung wird dann zunächst die dielektrische Schicht, die bevorzugt eine Oxidschicht ist, zumindest im Bereich der zu erzeugenden Durchführungen 13 wieder entfernt, und die zunächst nicht metallisierte Seite des Grundkörpers 10, beispielsweise durch Sputtern, metallisiert, bevor erneut durch Aufbringen von Fotolackmasken auf beiden Seiten des Grundkörpers 10 und anschließende galvanische Verstärkung die Leitstrukturen 11 bzw. 12 erzeugt und die Durchführung 13 metallisch verstärkt bzw. mit einem Metall belegt wird. Abschließend werden dann in einem Ätzschritt erzeugte Galvanikzuleitungen beidseits des Grundkörpers 10 wieder entfernt, so dass nur die Leitstrukturen 11, 12 und die Durchführung 13 bestehen bleiben.

Ergänzend sei noch betont, dass sich die vorstehend erläuterten Verfahren zur Realisierung aller bekannten Typen von Leitstrukturen und insbesondere planaren Wellenleitern wie koplanaren Wellenleitern, Mikrostreifenleitern und sogenannten „slot-lines“ eignen.

Das Verfahren zur Erzeugung eines elektrischen Bauelementes 5 gemäß Figur 10 mit einer kapazitiven Kopplung durch ein Dielektrikum 15 unterscheidet sich von dem vorstehend erläuterten Verfahren lediglich dadurch, dass nach dem Entfernen der Ätzmaskierung nach dem Plasmaätzschritt das Dielektrikum 15, das erneut bevorzugt als Oxidschicht vorliegt, in dem Bereich der Durchführung 13 nicht wieder entfernt wird, und in Gegenwart des Dielektrikums 15 die noch nicht metallisierte Seite des Grundkörpers 10 beispielsweise durch Sputtern metallisiert wird. Das weitere Vorgehen ist dann wie vorstehend bereits beschrieben.

Alternativ oder zusätzlich zum Einsatz einer dielektrischen Schicht 15 zur kapazitiven Kopplung können im Bereich der oberen Leitstruktur 11 und/oder im Bereich der unteren Leitstruktur 12 im Übrigen auch weitere Serienkapazitäten eingesetzt sein, die beispielsweise durch den Leitstrukturen 11, 12 vorgeschaltete kapazitive Leitungsstücke wie beispielsweise Interdigitalkapazitäten realisiert sind.

21.05.02 Kut/Zj

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Patentansprüche

- 10 1. Elektrisches Bauelement, insbesondere mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches Hochfrequenzbauelement, mit einem Grundkörper (10), der mit mindestens einer Durchführung (13) versehen ist, die eine auf oder in einer Umgebung einer Oberseite (21) des Grundkörpers (10) verlaufende erste Leitstruktur (11) mit einer auf oder in einer Umgebung einer Unterseite (20) des Grundkörpers (10) verlaufenden zweiten Leitstruktur (12) zumindest für
- 15 hochfrequente elektromagnetische Wellen durchgängig verbindet, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung (13) in Form eines geraden Prismas oder eines geraden Zylinders ausgebildet ist.
- 20 2. Elektrisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung (13) mit einem elektrisch leitfähigen Material, insbesondere einem Metall, gefüllt oder belegt ist.
- 25 3. Elektrisches Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (10) zumindest in einer Umgebung der Durchführung (13) eben ist, und dass die Durchführung (13) senkrecht zu der von dieser ebenen Umgebung aufgespannten Ebene verläuft und den Grundkörper (10) durchquert.
- 30 4. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung (13) eine mit Hilfe eines Plasmaätzverfahrens in den Grundkörper (10) eingeätzte und danach mit einem elektrisch leitfähigen Material gefüllte oder belegte Durchführung (13) ist.

5. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung (13) in Draufsicht rund, oval, quadratisch oder rechteckig ausgebildet ist.

5 6. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung (13) in Draufsicht eine Fläche von  $400 \mu\text{m}^2$  bis  $40000 \mu\text{m}^2$ , insbesondere von  $1600 \mu\text{m}^2$  bis  $10000 \mu\text{m}^2$ , einnimmt und/oder einen Durchmesser von  $20 \mu\text{m}$  bis  $200 \mu\text{m}$ , insbesondere  $40 \mu\text{m}$  bis  $100 \mu\text{m}$ , aufweist.

10 7. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (10) im Bereich der Durchführung (13) eine Dicke von  $100 \mu\text{m}$  bis  $650 \mu\text{m}$  aufweist.

15 8. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (10) eine hochohmige Siliziumscheibe, insbesondere mit einem spezifischen elektrischen Widerstand von mehr als  $1000 \Omega\text{cm}$ , ist.

20 9. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und/oder die zweite Leitstruktur (11, 12) als planarer Wellenleiter, insbesondere als koplanarer Wellenleiter, Mikrostreifenleiter oder Slot-Line, ausgebildet ist.

25 10. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die obere Leitstruktur (11) oder die untere Leitstruktur (12) von der Durchführung (13) durch ein Dielektrikum (15), insbesondere eine strukturierte dielektrische Schicht, getrennt ist.

30 11. Elektrisches Bauelement nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Dielektrikum (15) mit den Leitstrukturen (11, 12) und der Durchführung (13) einen Kondensator mit einer Kapazität von  $0,05 \text{ pF}$  bis  $4 \text{ pF}$ , insbesondere  $0,1 \text{ pF}$  bis  $2 \text{ pF}$ , bildet, und/oder dass das Dielektrikum (15) eine Siliziumoxidschicht mit einer Dicke von  $45 \text{ nm}$  bis  $1800 \text{ nm}$ , insbesondere  $90 \text{ nm}$  bis  $900 \text{ nm}$ , ist.

12. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die obere Leitstruktur (11) als oberer koplanarer Wellenleiter mit einer ersten oberen Masseleitung (11'), einer oberen Signalleitung (11'') und einer zweiten oberen Masseleitung (11') ausgebildet ist, die zumindest bereichsweise parallel zueinander verlaufen, dass die untere Leitstruktur (12) als oberer koplanarer Wellenleiter mit einer ersten unteren Masseleitung (12'), einer unteren Signalleitung (12'') und einer zweiten unteren Masseleitung (12') ausgebildet ist, die zumindest bereichsweise parallel zueinander verlaufen, dass die erste Masseleitung (11') der oberen Leitstruktur (11) mit der ersten Masseleitung (12') der unteren Leitstruktur (12) über eine erste Durchführung (13), die zweite Masseleitung (11') der oberen Leitstruktur (11) mit der zweiten Masseleitung (12') der unteren Leitstruktur (12) über eine zweite Durchführung (13) und die Signalleitung (11'') der oberen Leitstruktur (11) mit der Signalleitung (12'') der unteren Leitstruktur (11) über eine dritte Durchführung (13) in Verbindung steht, und dass die dritte Durchführung (13') gegenüber der ersten Durchführung (13) und der zweiten Durchführung (13) versetzt ist.

13. Elektrisches Bauelement nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Versatz (v) der dritten Durchführung (13') in Draufsicht auf den Grundkörper (10) 50 µm bis 300 µm, insbesondere 150 µm, beträgt.

14. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste oder die zweite Leitstruktur (11, 12) bereichsweise ein kapazitives Bauteil, insbesondere einen Interdigitalkondensator, aufweist.

15. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberseite (21) des Grundkörpers (10) mit einem elektrischen Bauteil (17) oder Sensorelement, insbesondere einem mikroelektronischen oder mikroelektromechanischen Hochfrequenzbauteil wie einer Hochfrequenzdiode oder einem Hochfrequenztransistor, einem in Mikromechanik gefertigten Kurzschlusschalter für hochfrequente elektromagnetische Wellen oder einem in Mikromechanik gefertigten Sensorelement, versehen ist, das über die Durchführung (13), insbesondere über mindestens zwei derartige Durchführungen (13), von der Unterseite (20) des Grundkörpers (10) elektrisch ansteuerbar ist.



16. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Bauteil (17) auf der Oberseite des Grundkörpers (10) mit einer hermetisch dichten Verkappung (16) versehen ist

5 17. Verfahren zur Erzeugung eines elektrischen Bauelementes (5) mit einer Durchführung (13) für hochfrequente elektromagnetische Wellen durch einen Grundkörper (10), insbesondere nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei auf einer Oberseite (21) des Grundkörpers (10) zumindest bereichsweise eine elektrisch leitfähige Schicht und auf einer Unterseite (20) des Grundkörpers (10) eine Ätzmaskierung aufgebracht wird, wobei in den Grundkörper (10) mittels der Ätzmaskierung in einem Plasmaätzschritt mindestens ein den Grundkörper (10) durchquerender Trenchgraben (14) mit zumindest nahezu senkrechten Seitenwänden eingätzt wird, wobei nach dem Ätzen und einem Entfernen der Ätzmaskierung auf der Unterseite (20) zumindest bereichsweise eine elektrisch leitfähige Schicht aufgebracht wird, und wobei der Trenchgraben (14) mit einem elektrisch leitfähigen Material, insbesondere mittels galvanischer Abscheidung, zumindest weitgehend ausgefüllt oder belegt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrisch leitfähige Schicht auf der Oberseite (21) und/oder der Unterseite (20) durch Abscheiden oder Aufspüttern eines Metalls, insbesondere eines für eine nachfolgende galvanische Verstärkung geeigneten Metalls, erzeugt und entsprechend einer auf der Oberseite (21) und/oder der Unterseite (20) zu erzeugenden Leitstruktur (11, 12) strukturiert wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass als Ätzmaskierung ein Photolack aufgebracht wird, der photolithographisch strukturiert wird.

20. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Einätzen des Trenchgrabens (14) beidseits des Grundkörpers (10) Photolackmasken aufgebracht und auf der Oberseite (21) und der Unterseite (20) metallische Leitstrukturen (11, 12), insbesondere in Form von planaren Wellenleitern, zusammen mit dem den Trenchgraben (14) füllenden oder belegenden elektrisch leitfähigen Material galvanisch abgeschieden werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Abscheiden der elektrisch leitfähigen Schicht auf der Oberseite (21) des Grundkörpers (10)

dort bereichsweise eine in Draufsicht an die Fläche der zu erzeugenden Durchführung (13) angepasste oder geringfügig größere dielektrische Schicht (15) abgeschieden wird.

21.05.02 Kut/Zj

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Elektrisches Bauelement, insbesondere mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches  
Hochfrequenzbauelement, und Verfahren zu dessen Herstellung

10

Zusammenfassung

15

20

Es wird ein elektrisches Bauelement (5), insbesondere ein mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches Hochfrequenzbauelement, mit einem mit einer Durchführung (13) versehenen Grundkörper (10) vorgeschlagen, wobei mittels der Durchführung (13) eine auf einer Oberseite (21) des Grundkörpers (10) verlaufende erste Leitstruktur (11) mit einer auf einer Unterseite (20) des Grundkörpers (10) verlaufenden zweiten Leitstruktur (12) für hochfrequente elektromagnetische Wellen durchgängig verbunden ist. Die Durchführung (13) weist die Form eines geraden Prismas oder Zylinders auf. Daneben wird ein Verfahren zur Erzeugung eines elektrischen Bauelementes (5) mit einer Durchführung (13) für hochfrequente elektromagnetische Wellen durch einen Grundkörper (10) vorgeschlagen, wobei auf einer Oberseite (21) des Grundkörpers (10) eine elektrisch leitfähige Schicht und auf einer Unterseite (20) des Grundkörpers (10) eine Ätzmaskierung aufgebracht wird, danach in den Grundkörper (10) in einem Plasmaätzschritt ein den Grundkörper durchquerender Trenchgraben (14) mit zumindest nahezu senkrechten Seitenwänden eingeätzt wird, nach dem Ätzen und einem Entfernen der Ätzmaskierung auf der Unterseite (20) eine elektrisch leitfähige Schicht aufgebracht wird, und schließlich der Trenchgraben (14) mit einem elektrisch leitfähigen Material ausgefüllt oder belegt wird.

30

Figur 14

1/7

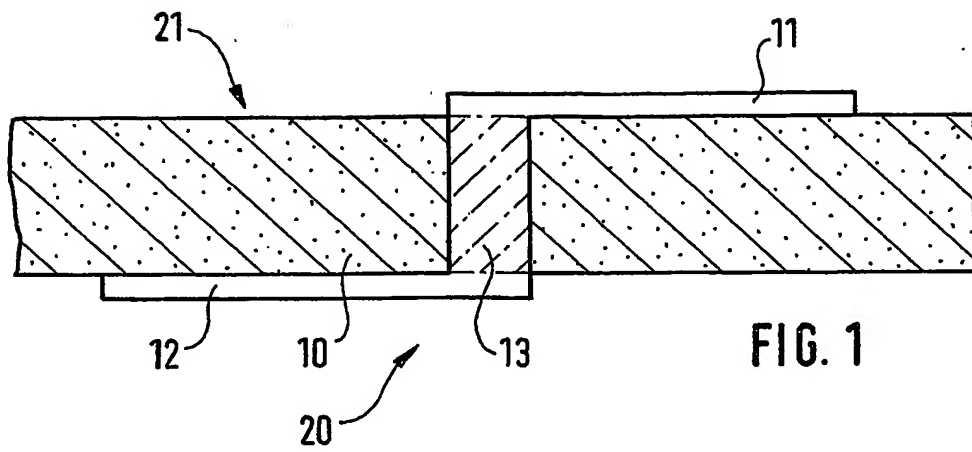


FIG. 1

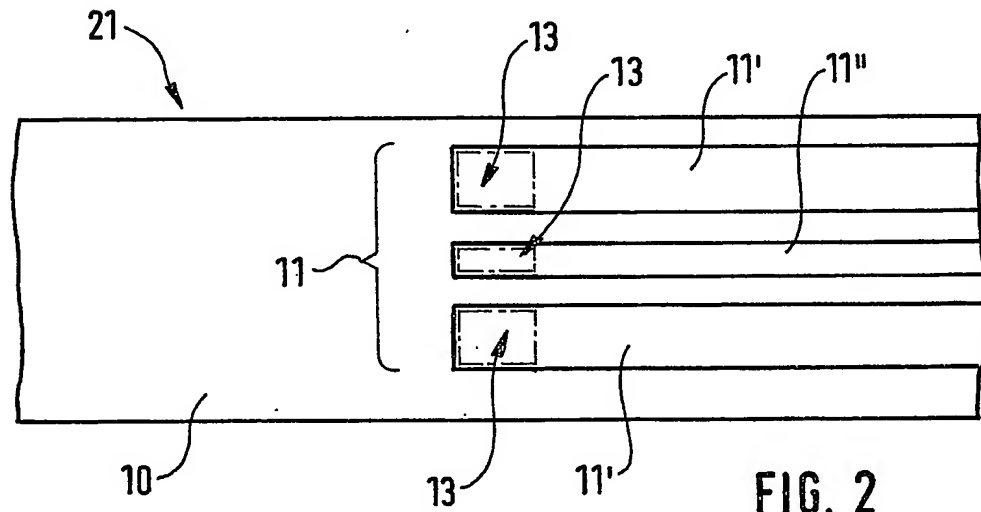


FIG. 2

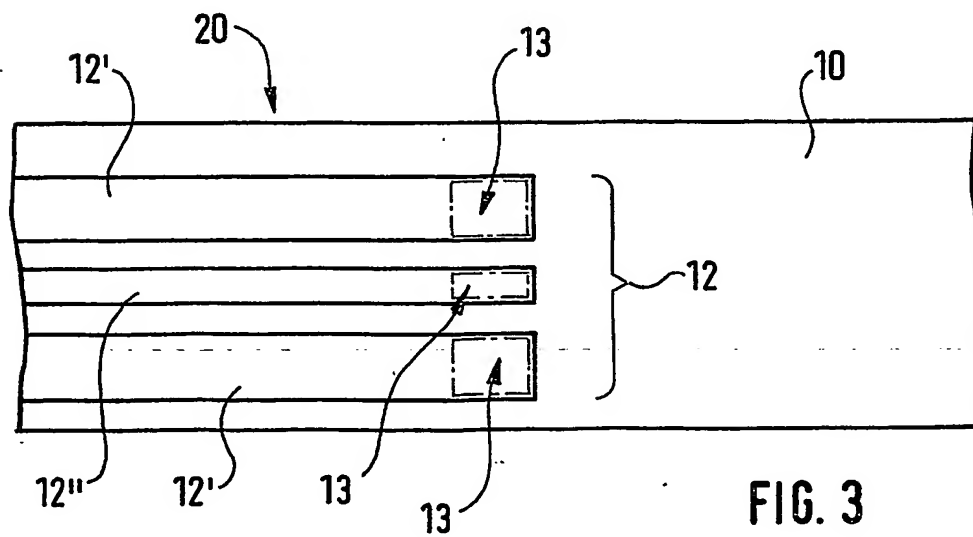


FIG. 3

2/7

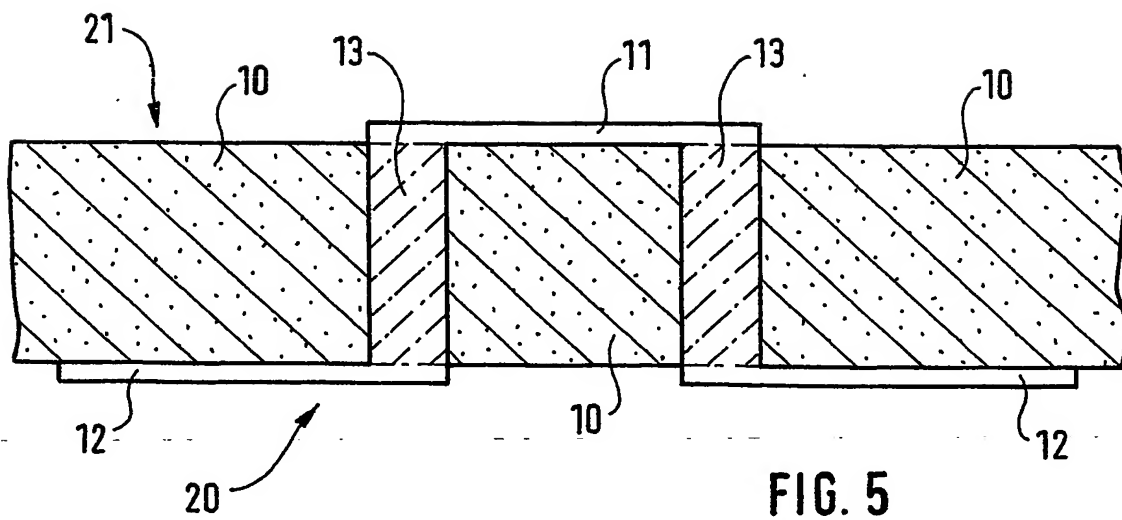
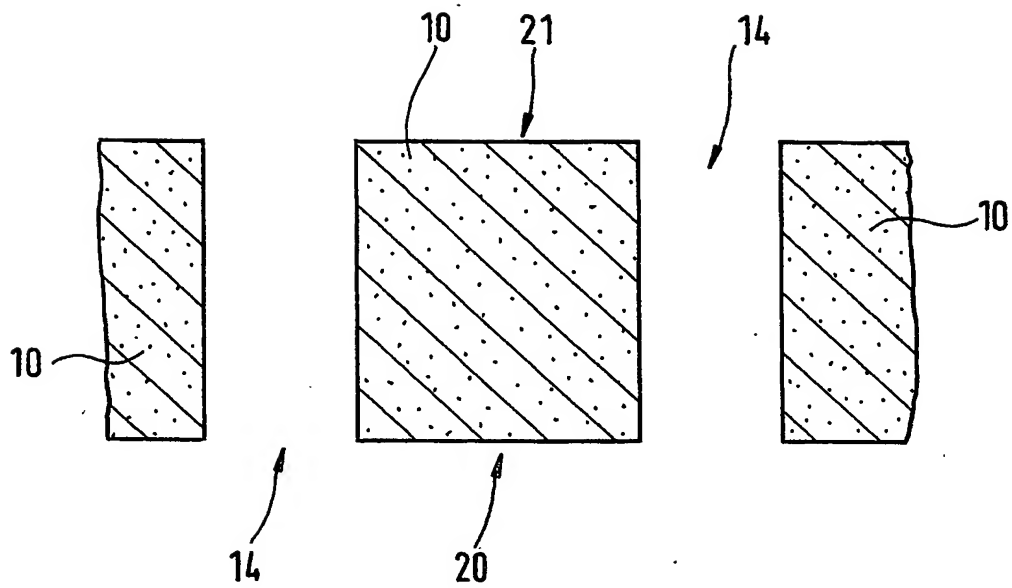


FIG. 5

3/7

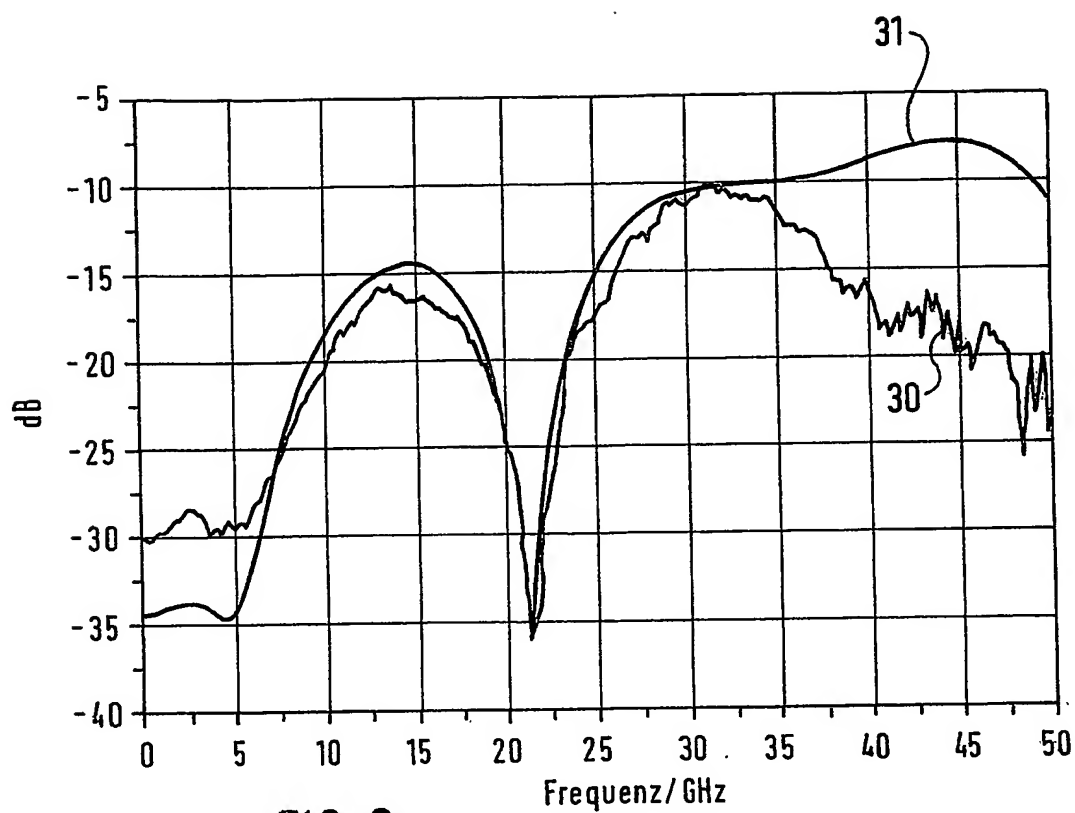


FIG. 6

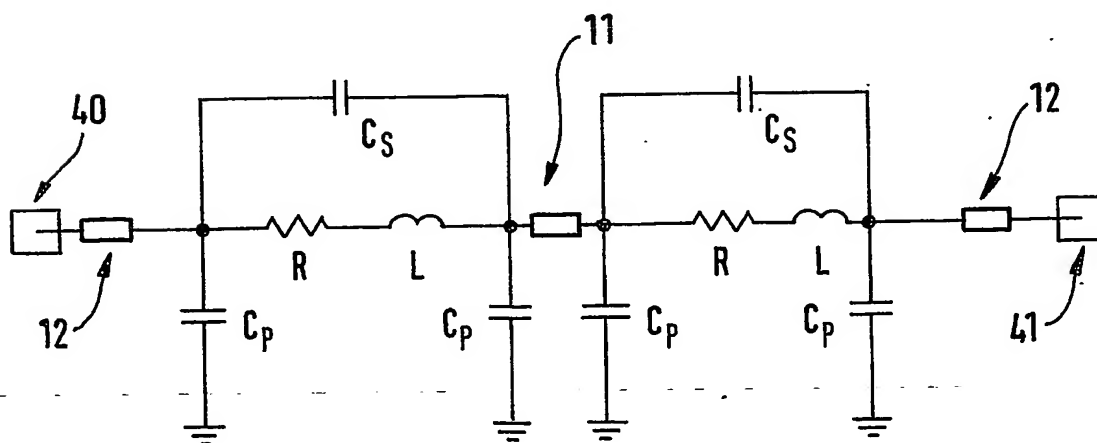


FIG. 7

4/7

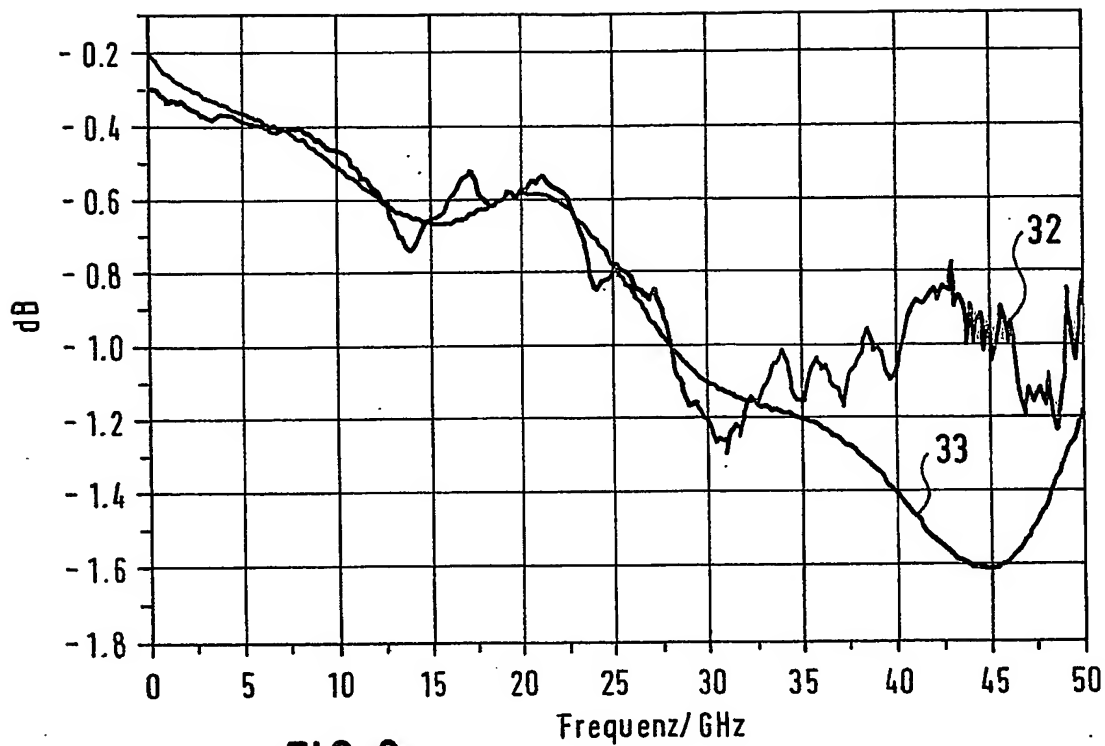


FIG. 8

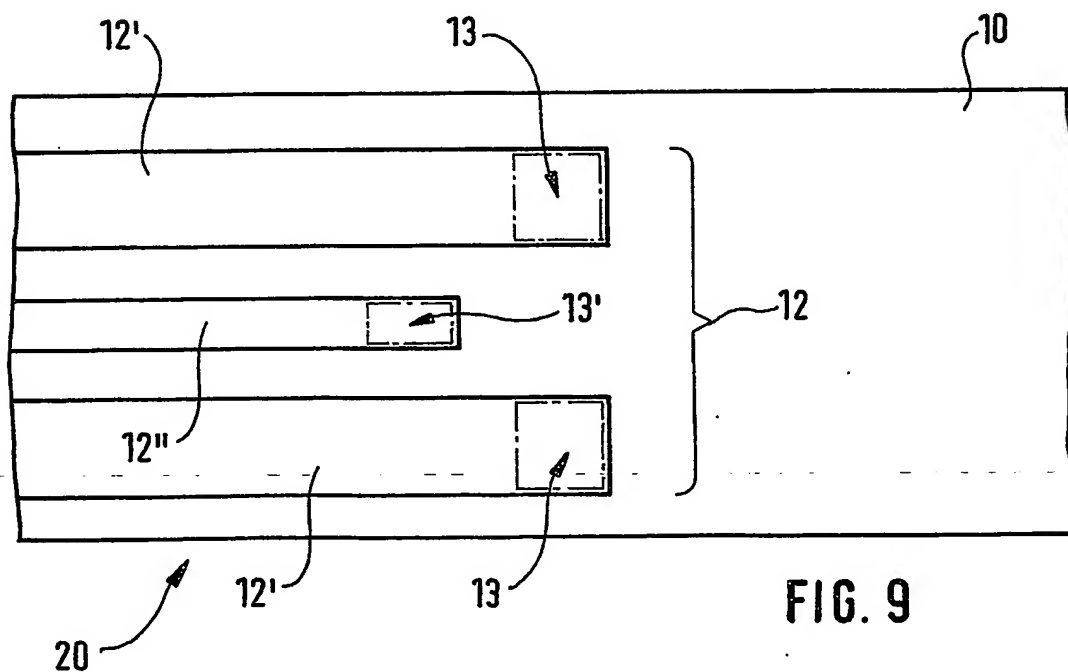


FIG. 9

5/7

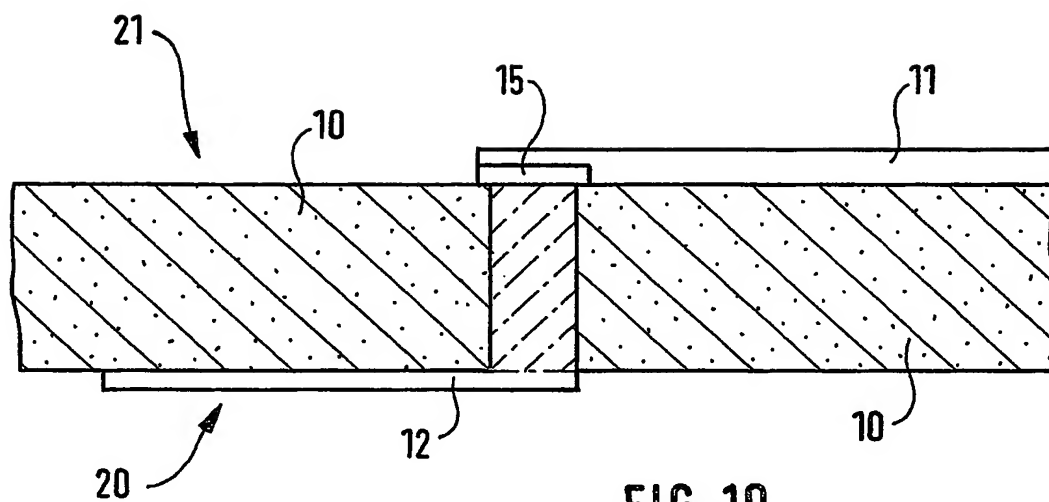


FIG. 10

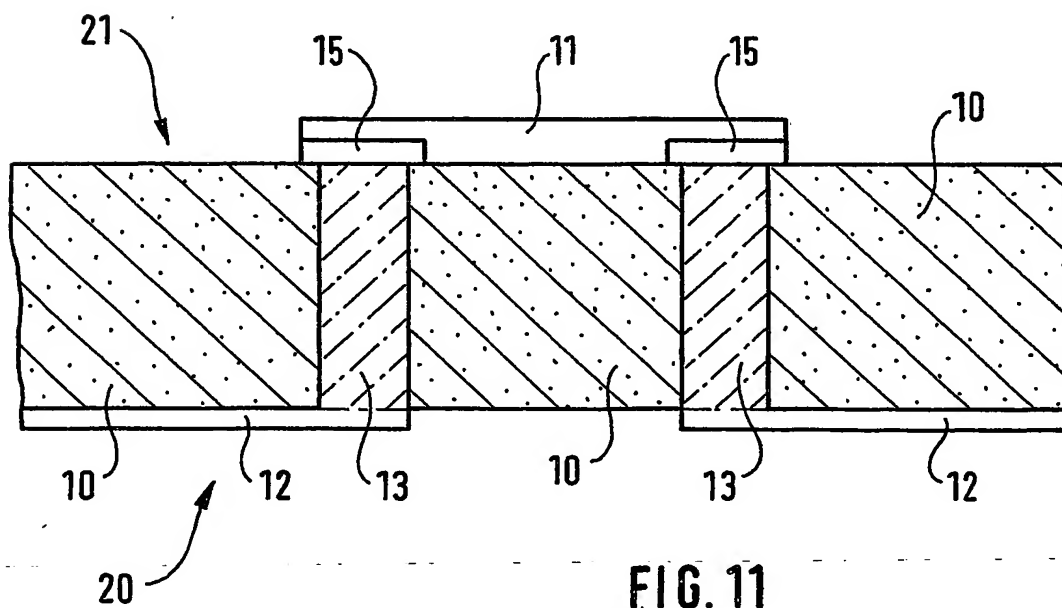


FIG. 11



6/7

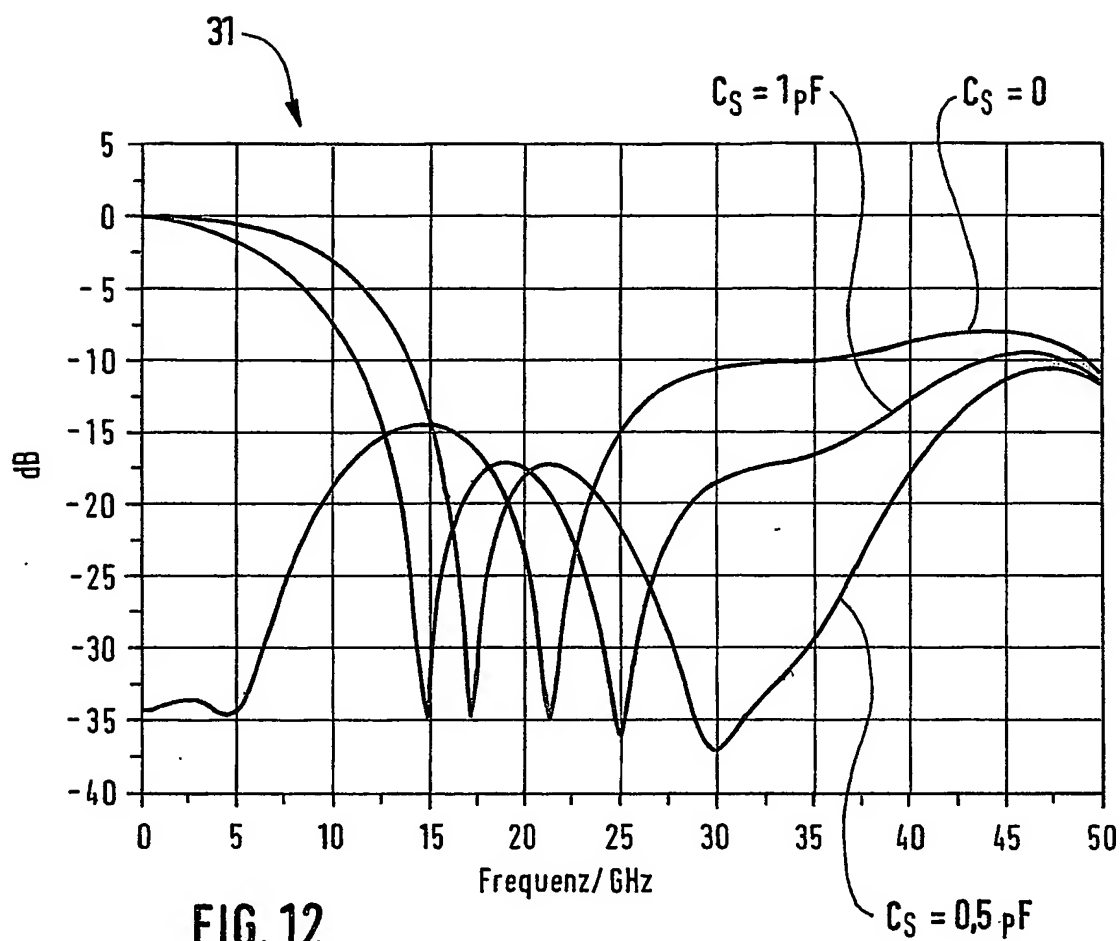


FIG. 12

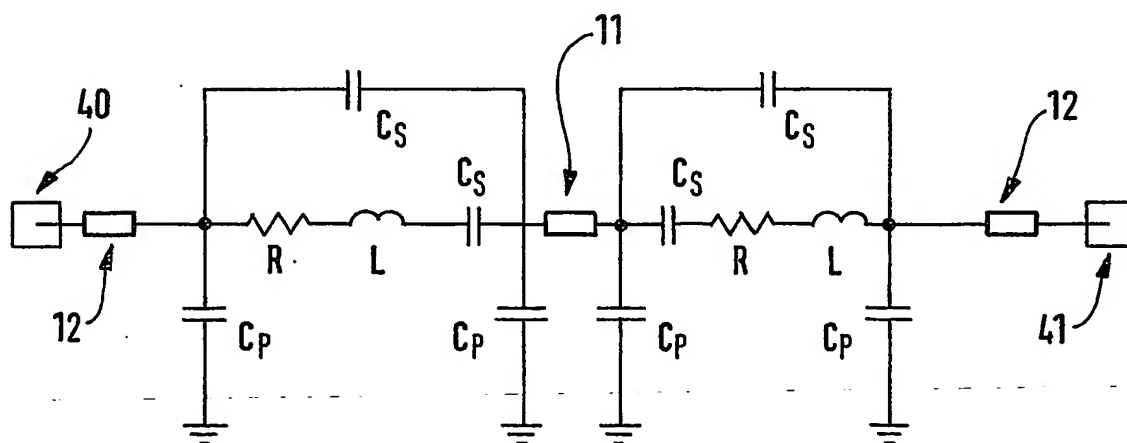


FIG. 13

7/7

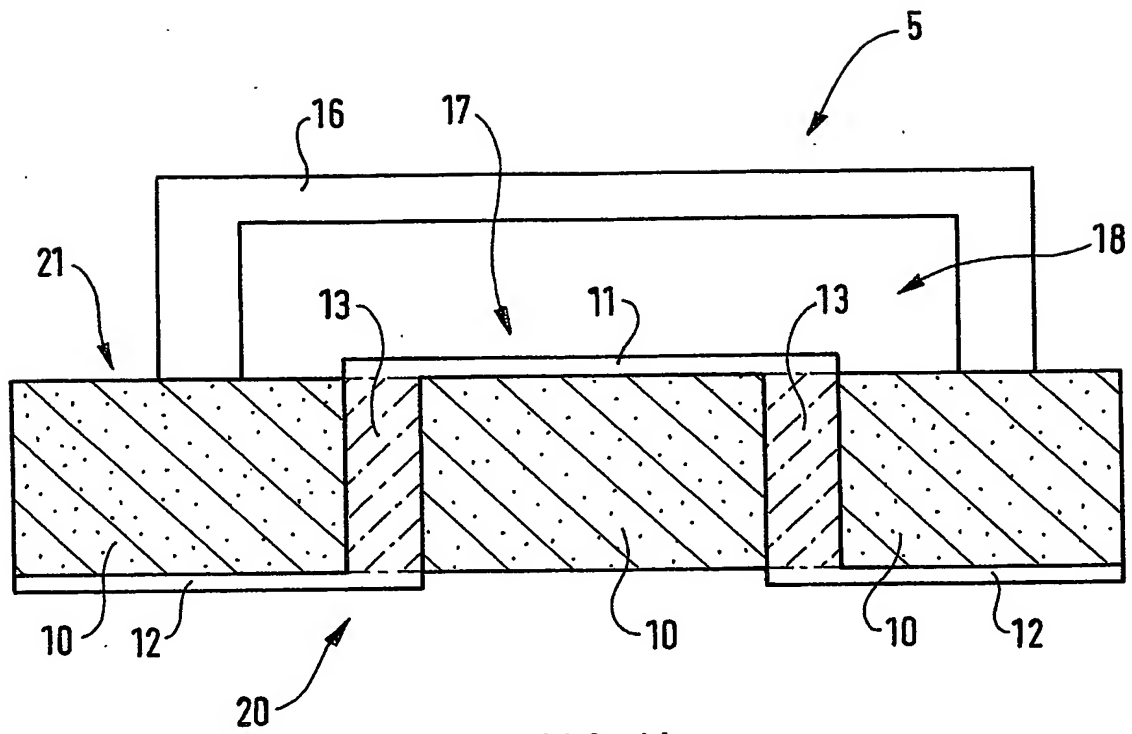


FIG. 14

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**